

Programa de medición continua de irradiancia solar: relevancia para el desarrollo de la Energía Solar en el Uruguay

Dr. Gonzalo Abal
Laboratorio de Energía Solar - Instituto de Física
Facultad de Ingeniería, UDELAR
<http://les.edu.uy>

Las mediciones y el desafío energético global

Día Internacional de la Metrología

20 de Mayo 2014

LATU, Montevideo, Uruguay



LABORATORIO DE
ENERGÍA SOLAR
UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA



Medidas y Energía Solar

- 1) **Energía solar en Uruguay hoy**
- 2) **Caracterización del recurso solar**
- 3) **Desarrollos recientes en infraestructura de medidas**

1. Energía en Uruguay...

PRECIOS DE LA ENERGÍA EN LA REGIÓN

País	Energía Eléctrica		Combustibles				
	Industrial Media Tensión (USD/MWh)	Residencial (USD/MWh)	Fuel Oil (USD/lt)	Gas Natural Residencial (USD/m ³)	G.L.P. Supergás (USD/kg)	Gas Oil (USD/lt)	Nafta (USD/lt)
Uruguay	144	305	0,90	1,68	1,46	1,76	1,85
Chile	98	179	0,77	1,54	1,66	1,00	1,39
Brasil	121	183	0,64	1,76	1,41	1,07	1,28
Argentina	32	41	0,58	0,05	0,20	1,05	1,16

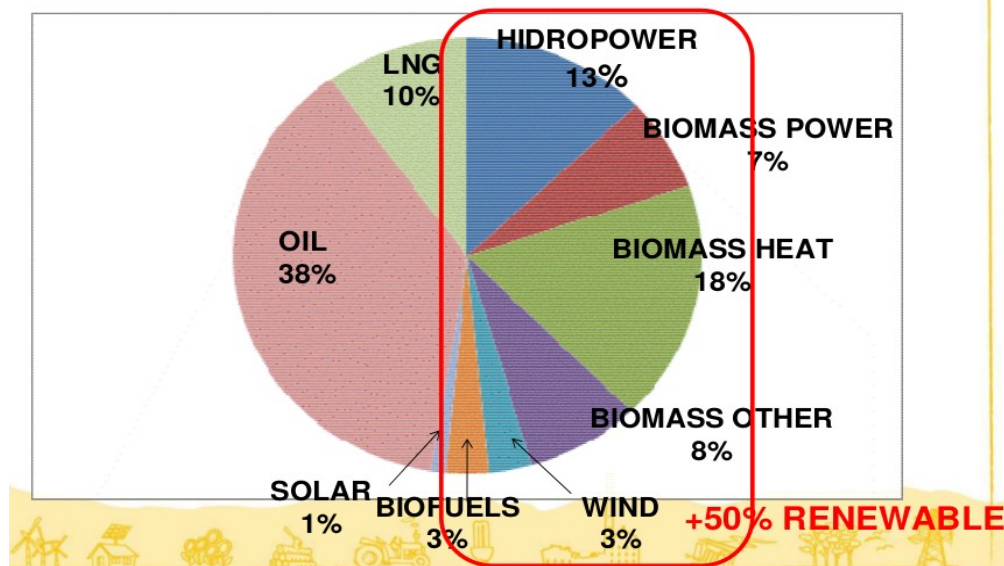
Nota: USD/MWh equivale a dólares por Megavatio hora.

Fuente: SEG Ingeniería Indicadores Energéticos (Marzo 2014) <http://www.segingeneria.com/>

Política Energética a 2030:

Prevee incorporación de fuentes renovables, superando el 50% de la matriz energética primaria en los próximos años.

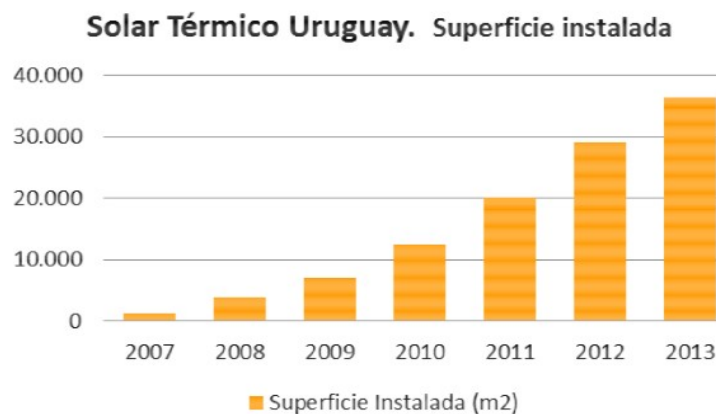
Fuente: DNE/MIEM



Energía solar hoy en Uruguay

Energía Solar Térmica

- 953 instalaciones en el Plan Solar (UTE-MIEM)
- 62 sistemas prefabricados aprobados (URSEA)
- Infraestructura para certificación de equipos (LATU - UdelaR)
- Formación de RRHH (UTEC)



Fuente: <http://www.dne.gub.uy/>

Estado de Situación Energía Solar Térmica
en Uruguay - DNE/MIEM 02/05/2014

Sistemas solares térmicos residenciales se amortizan en 3-5 años

Energía solar hoy en Uruguay

Energía Solar Fotovoltaica

- planta piloto Asahi (Salto)
MIEM/DNE (480 kWp) operativa
desde marzo 2013
- **200 MWp** adjudicados a
privados en 2013 ...
- Precio: 91.50 USD/Mwp hasta
mayo 2014, luego baja.
- la tendencia es descendente...

Fuentes: MIEM-DNE

PV-Magazine <http://www.pv-magazine.de/>
<http://www.nrel.gov/docs/fy13osti/56776.pdf>

Imágen fondo: planta Casalko de 1.75 Mw
en Paysandú (en construcción por Tecnova)

➔ **Se requiere información detallada y confiable sobre el recurso solar ...**

Energía solar hoy en Uruguay

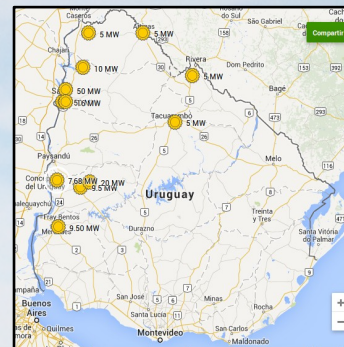
Energía Solar Fotovoltaica

- planta piloto Asahi (Salto) MIEM/DNE (480 kWp) operativa desde marzo 2013
- **200 MWp** adjudicados a privados en 2013 ...
- Precio: 91.50 USD/Mwp hasta mayo 2014, luego baja.
- la tendencia es descendente...

Fuentes: MIEM-DNE

PV-Magazine <http://www.pv-magazine.de/>
<http://www.nrel.gov/docs/fy13osti/56776.pdf>

Imágen fondo: planta Casalko de 1.75 Mwp en Paysandú (en construcción por Tecnova)



Proyectos fotovoltaicos en marcha en 2014 (200 MWp)
Fuente: Ing. D. Oroño (IIE/FING)

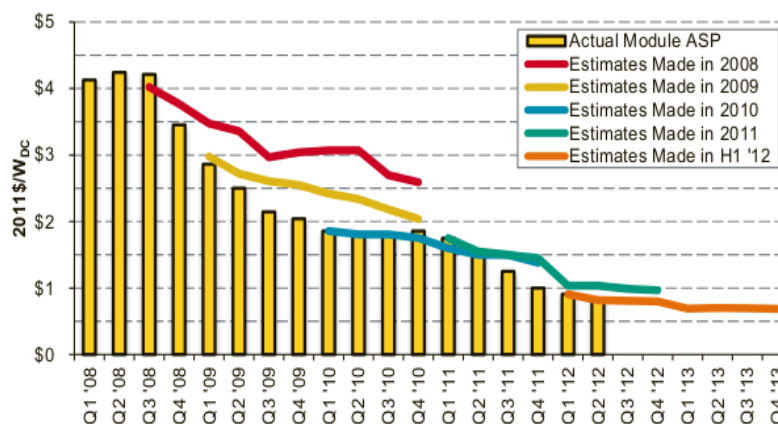


Figure 14. Actual module average selling price reduction vs. average analyst expectations

Fuente: DOE-NREL Sunshot Photovoltaic Pricing Trends, November 2012

➔ Se requiere información detallada y confiable sobre el recurso solar ...

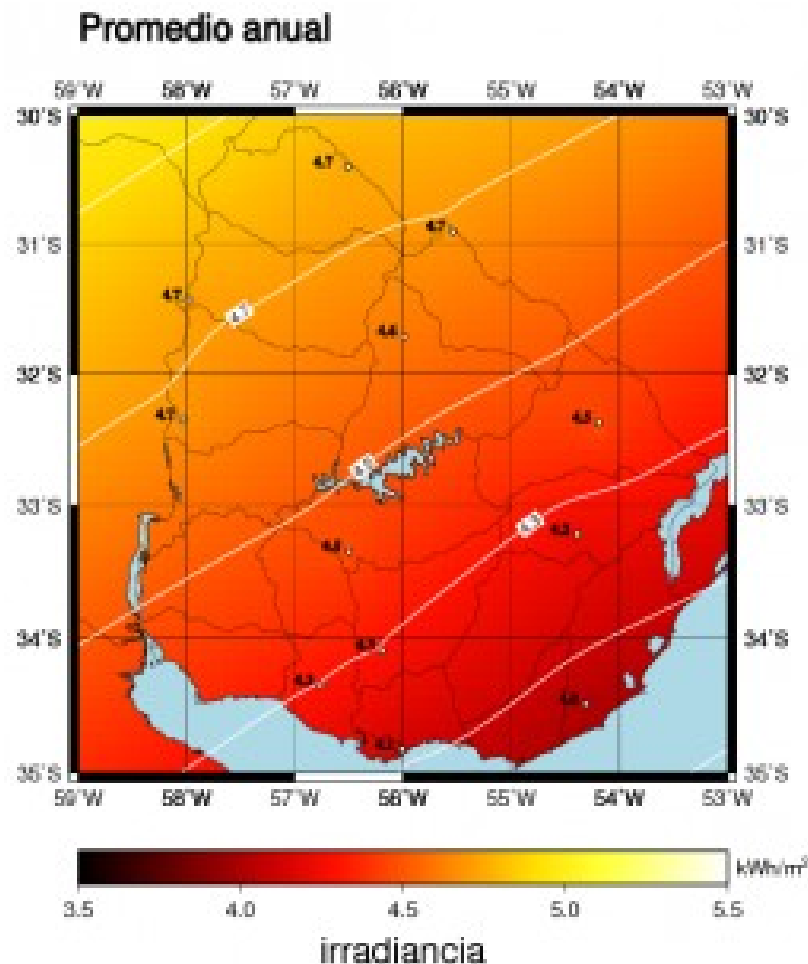
2. Recurso solar

Mapa Solar del Uruguay v1

- Convenio MIEM-FING (colaboración IF-IMFIA)
- resultado de 2009
<http://les.edu.uy/servicios/mapa-solar-del-uruguay/>
- basado en medidas históricas:
 - 3 series de irradiancia diaria (5 a 9 años INIA/INMET/UTE)
 - medidas diarias de horas de sol de 30 años para 12 localidades (DNM/INIA)
- irradiación diaria (promedio mensual) para 12 localidades.

Limitaciones:

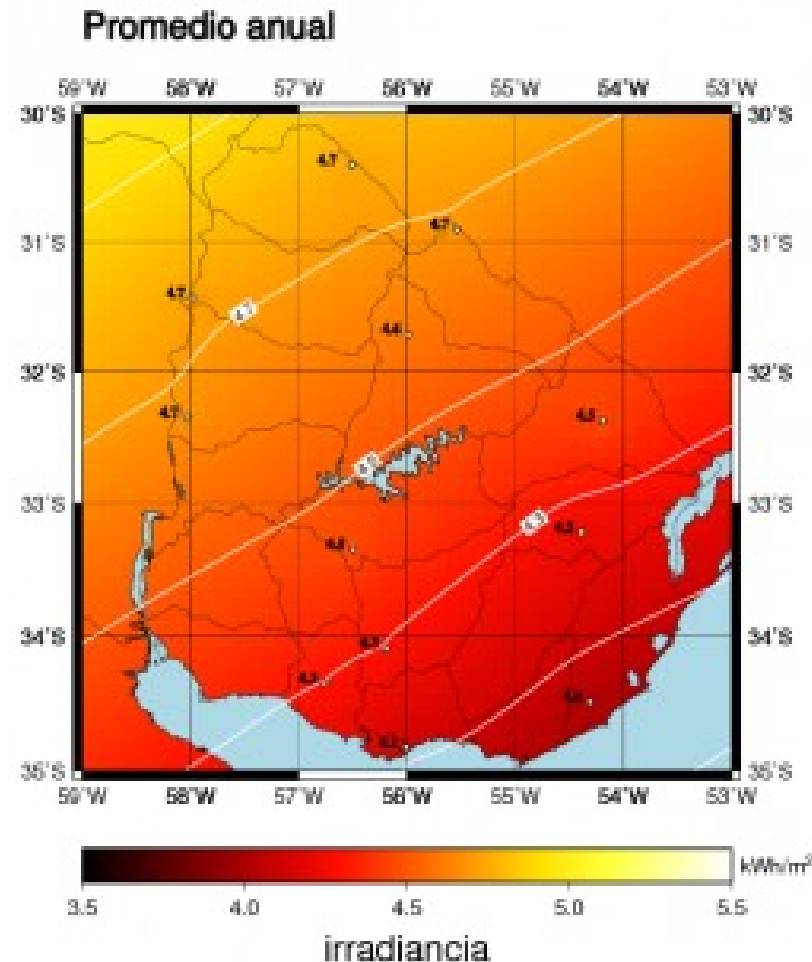
- poca resolución espacial: 150 km
- poca resolución temporal: promedios mensuales diarios
- difícil estimar error (no hay metadatos)



2. Recurso solar

Mapa Solar del Uruguay v1

- Convenio MIEM-FING (colaboración IF-IMFIA)
- resultado de 2009
<http://les.edu.uy/servicios/mapa-solar-del-uruguay/>
- basado en medidas históricas:
 - 3 series de irradiancia diaria (5 a 9 años INIA/INMET/UTE)
 - medidas diarias de horas de sol de 30 años para 12 localidades (DNM/INIA)
- irradiación diaria (promedio mensual) para 12 localidades.

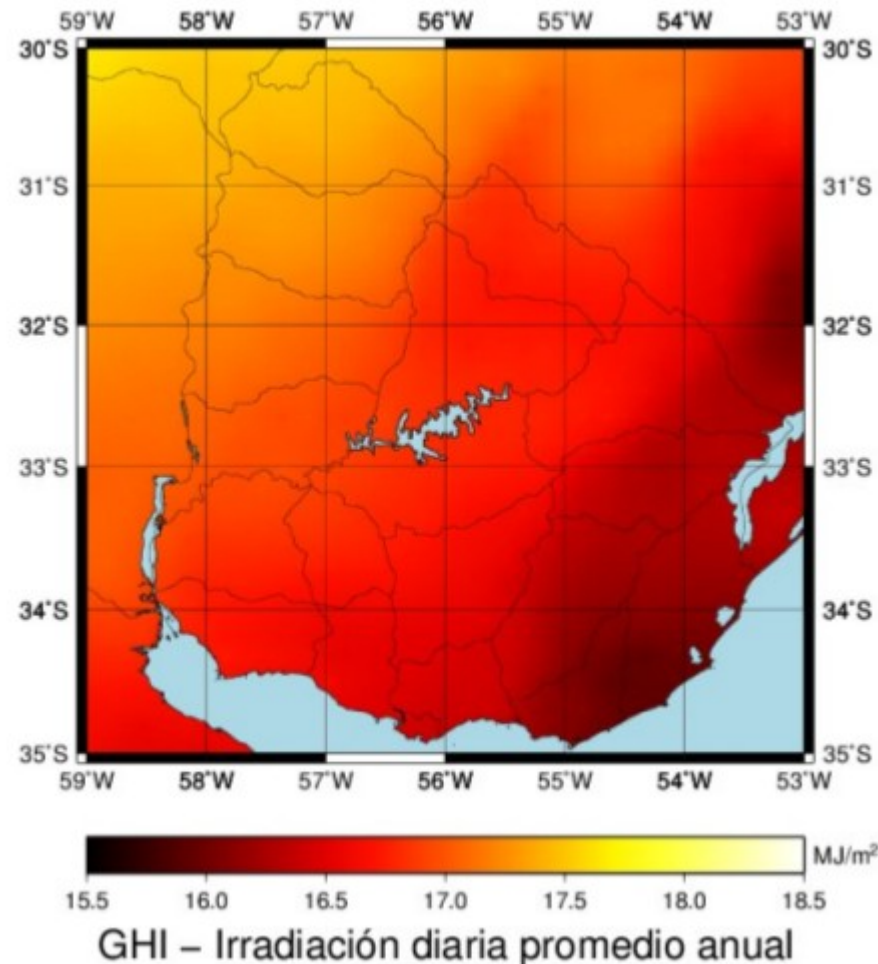


Queda clara la necesidad de desplegar en el territorio un **programa de medidas de radiación solar** de calidad controlada y de largo plazo (> 10 años).

Mapa Solar del Uruguay v2

- Basado en 14 años de imágenes satelitales y 4 años de medidas de tierra
- Resolución espacial: 5 km
- Resolución temporal: horaria

Aún no publicado
(LES/FING)



Productos: mapas de GHI (global horizontal), DNI (directa en incidencia normal), GTI (irradiancia global sobre plano inclinado), DHI y BHI (irradiancia directa y difusa), etc.

Estimación del recurso solar por satélite (GOES)

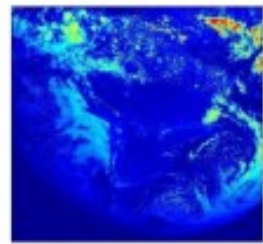


Imagen satélite
GOES

Medida en tierra,
buena calidad (pocos puntos)



Ajuste parámetros
(periódico)

Control de incerteza

Medidas de tierra juegan un rol central...

Modelo
paramétrico
(BD-JPT)

Productos:

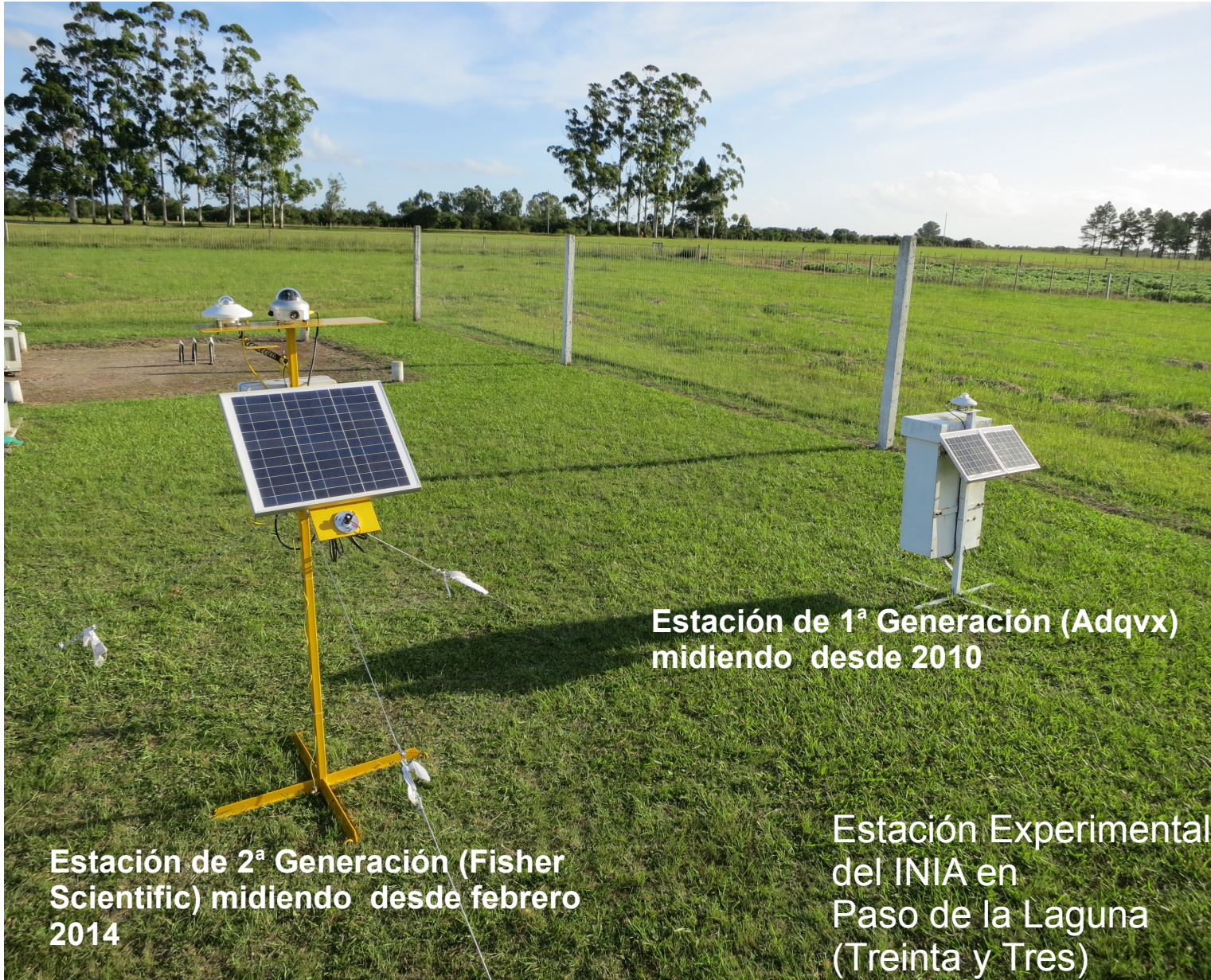
- Irradiancia horaria
- DNI
- Irradiancia en plano inclinado

Resolución espacial:
• 5 km

Resolución temporal:
• horaria

Índice de nubosidad
Nieblas
Etc, etc. ...

Estaciones de medida FING



Estación de 2ª Generación (Fisher Scientific) midiendo desde febrero 2014

Estación de 1ª Generación (Adqvx) midiendo desde 2010

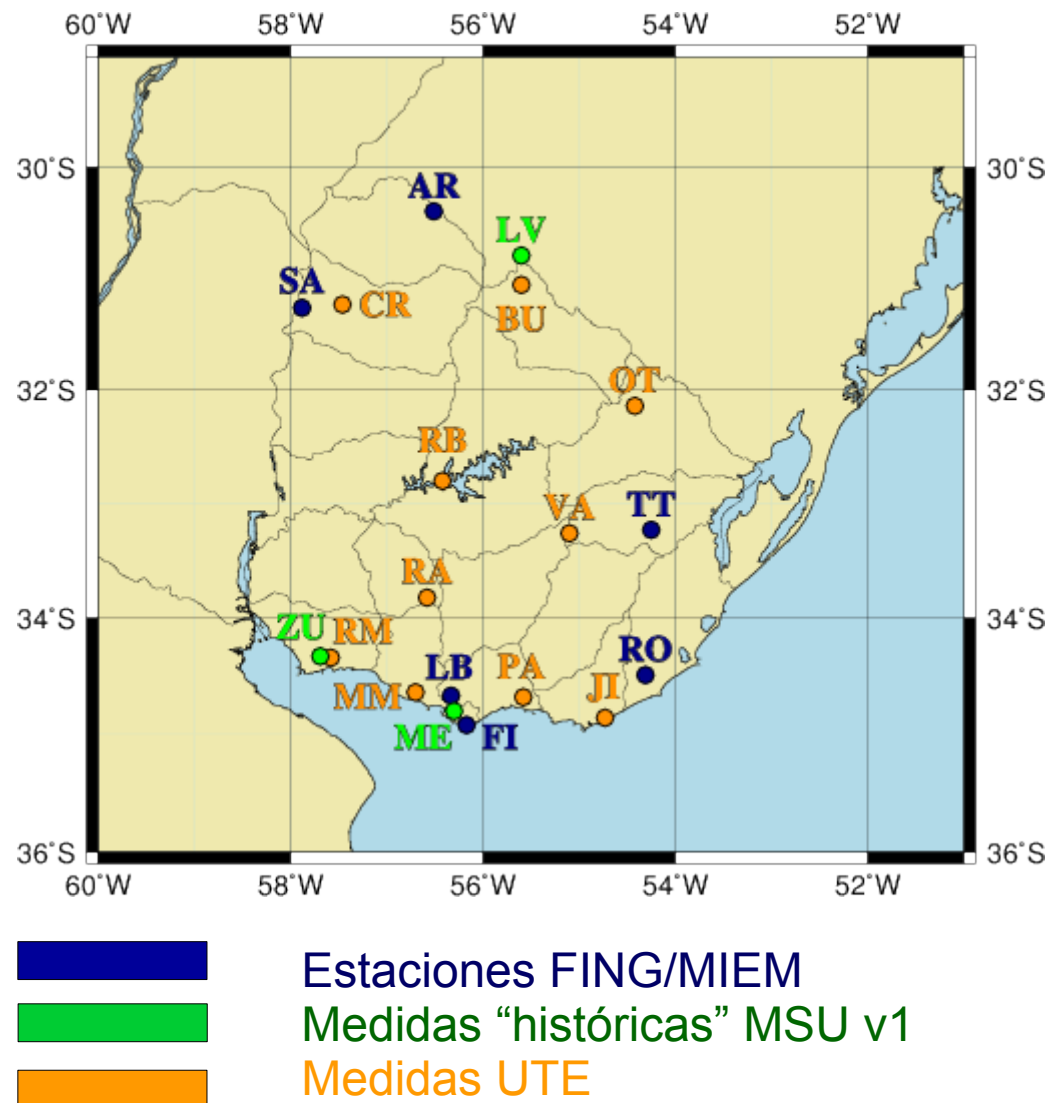
Estación Experimental del INIA en Paso de la Laguna (Treinta y Tres)

Red de medidas continuas de radiación solar

Convenio FING/UDELAR – MIEM/DNE para mantenimiento y operación.
Datos públicos (disponibles en www.les.edu.uy)

- **6 puntos de medida**
(pasa a 8 en 2014)
- **Piranómetros Kipp & Zonen**
(CMP 6 y CMP11)
error < 6%
- **Una medida cada 3 minutos**,
desde 2010
- **Medidas complementarias**
radiación difusa, directa,
ultravioleta, radiación en plano
inclinado...
- **Control calidad**
 - piranómetros calibrados cada 2
años contra estándar secundario.
 - redundancia (desde 2014)
 - filtrado pos-medida (desde 2014)

▼
**Se requiere un lugar
específicamente equipado
para esto**



3. Nueva infraestructura de medidas en Salto Grande (2014)

A) Laboratorio de Energía Solar (LES) en Salto Grande
(UDELAR con apoyo MIEM y CTM)

B) Laboratorio de ensayo de Eficiencia Térmica de Colectores Solares y Sistemas Prefabricados
(UdelaR/MIEM/FUDAEE)

C) Antena y decodificador GOES
(ANTEL/FING-UdelaR)

Represa de Salto Grande



Laboratorio de Energía Solar (LES)

- **Mantenimiento y operación de la red** de medidas continuas de radiación solar
- **Medidas continuas de alta calidad** (radiación directa, difusa, ultravioleta).
- **Calibración de piranómetros** y sensores fotovoltaicos contra estándar secundario KZ CMP 22. Norma ISO 9847.
- **Patrón radiación** calibrado contra el patrón mundial en el WRC – Suiza.
- **Construcción y monitoreo de prototipos** (concentrador solar, paneles planos, muros acumuladores, etc)
- ambiente fértil para la **investigación** en diversos aspectos de la energía solar
- Inauguración? 2ndo semestre 2014.



Laboratorio de ensayo de eficiencia térmica de colectores solares y sistemas compactos

- **Convenio UdelaR-MIEM**
Financiamiento: CND (FUDAEE)
- Ubicado en el predio del LES en Salto Grande
- Con asesoramiento del CENER (España)
- **Ensayos de eficiencia:**
UNIT-ISO 9806-1
(colectores solares)
UNIT-ISO 9459-2
(sistemas compactos)
UNIT-ISO 9459-5
(sistemas prefabricados)
- Complementa **ensayos de calificación realizados por LATU**
- Diseño, construcción y puesta en marcha prevista en 2014.



Banco ensayo colectores (CENER)
Navarra, España

Antena y sistema decodificador para satélite GOES

- **Convenio ANTEL-FING (2014)**
- Permitirá al Uruguay disponer de las imágenes GOES en **tiempo real**
- Permitirá avanzar en predicción de variabilidad del recurso solar
- **Respaldo físico y servidor de imágenes en LES (Salto)**



Receptor en Estación Manga (ANTEL)

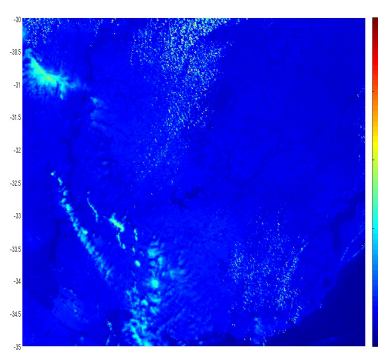


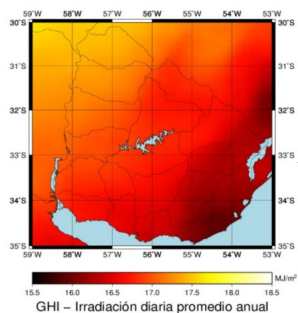
Imagen GOES

Almacenamiento local (ANTEL)

Respaldo y servidor (LES) Salto

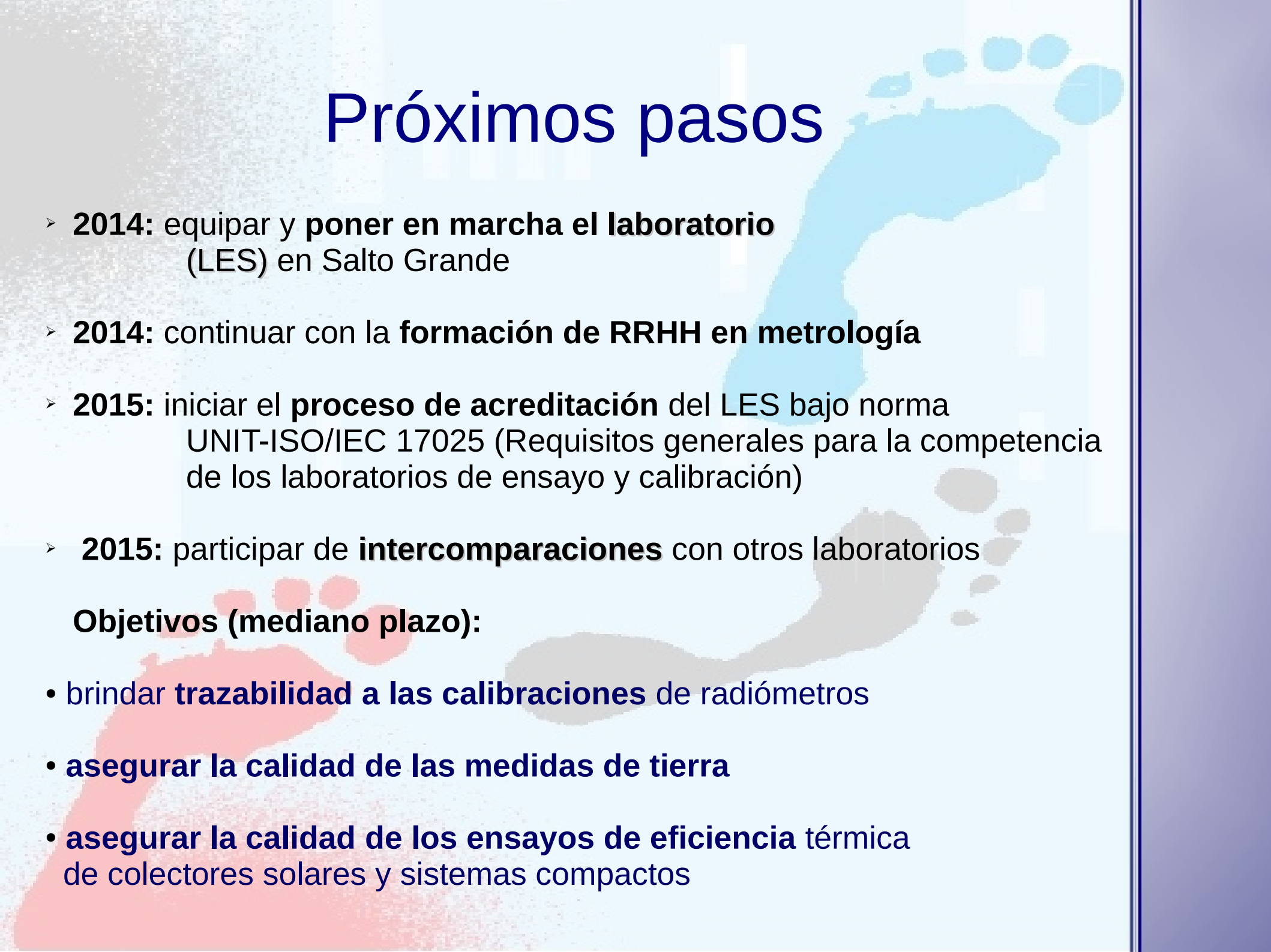
Medidas tierra (LES)

Modelo BD-JPT (LES)



Productos horarios en tiempo casi real

Próximos pasos



- **2014:** equipar y **poner en marcha el laboratorio (LES)** en Salto Grande
- **2014:** continuar con la **formación de RRHH en metrología**
- **2015:** iniciar el **proceso de acreditación** del LES bajo norma UNIT-ISO/IEC 17025 (Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración)
- **2015:** participar de **intercomparaciones** con otros laboratorios

Objetivos (mediano plazo):

- brindar **trazabilidad a las calibraciones** de radiómetros
- **asegurar la calidad de las medidas de tierra**
- **asegurar la calidad de los ensayos de eficiencia térmica** de colectores solares y sistemas compactos